Simulation und experimentelle Untersuchung des Ladungswechsels am Beispiel eines Doppelkolbenmotors

11. Saxsim

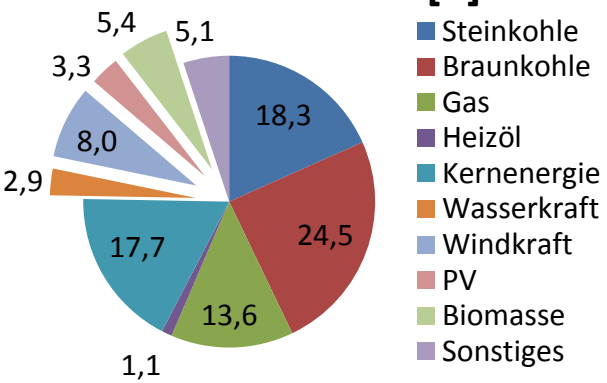
26.03.2019

Pascal Diwisch, Daniel Billenstein, Christian Glenk, Frank Rieg

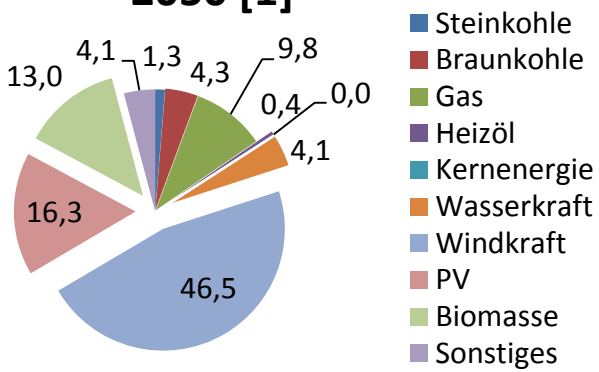
Motivation

Energiewende

Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern 2011 [1]



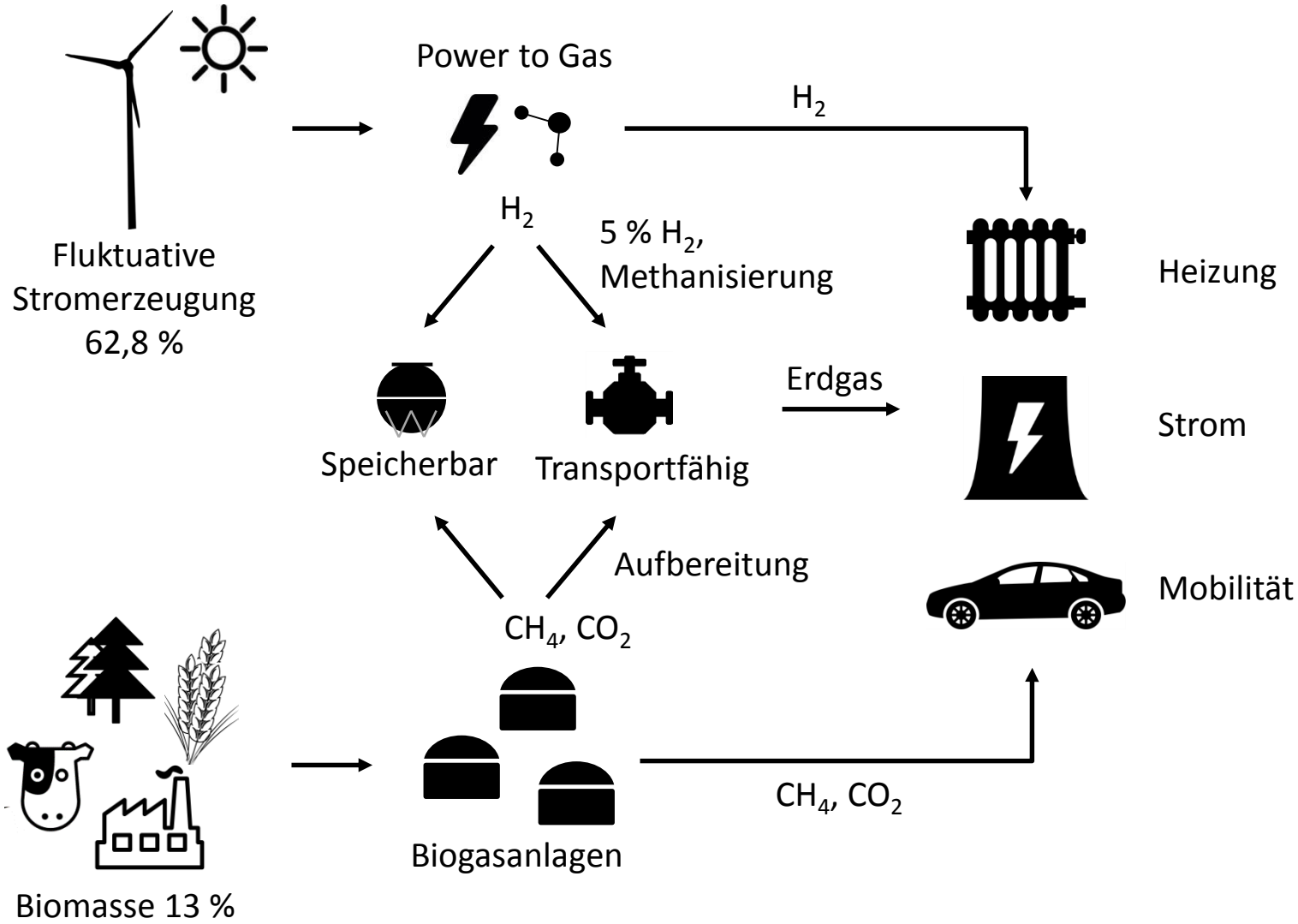
Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern 2050 [1]



2011
▪ Bruttostromerzeugung 611 TWh ▪ Anteil regenerativer Energien 19,6 % Zusätzlicher Primärenergieverbrauch im Personenstraßenverkehr (PKW) 383,3 TWh und Güterverkehr 208,9 TWh

Szenario 2050
▪ Bruttostromerzeugung 460 TWh ▪ Anteil regenerativer Energien 80 % Zusätzlicher Primärenergieverbrauch im Personenstraßenverkehr (PKW) 209,4 TWh und Güterverkehr 189,2 TWh

Methan aus regenerativen Energien



Biomethan als Kraftstoff

Vergleich von Biomethan und Ottokraftstoffen

Vorteile

- regenerativ erzeugbar
- 30 % geringerer CO_2 Ausstoß (Erdgas) [2]
- höherer Wirkungsgrad
- Aggregatszustand bereits gasförmig

Nachteile

- keine Innenkühlung aufgrund von fehlender Verdampfung
- Treibhauspotential von CH_4 beträgt 21
- kostenintensive Aufbereitung
- 45 % geringerer Heizwert (ohne Aufbereitung)

Herausforderungen in Verbrennungsmotoren

→ Vermeidung von Kurzschlussströmungen

→ vollständige Verbrennung notwendig

→ signifikante Leistungssteigerung

Motorkonzepte

Hubkolbenmotor nach dem Zweitaktprinzip

Vorteile

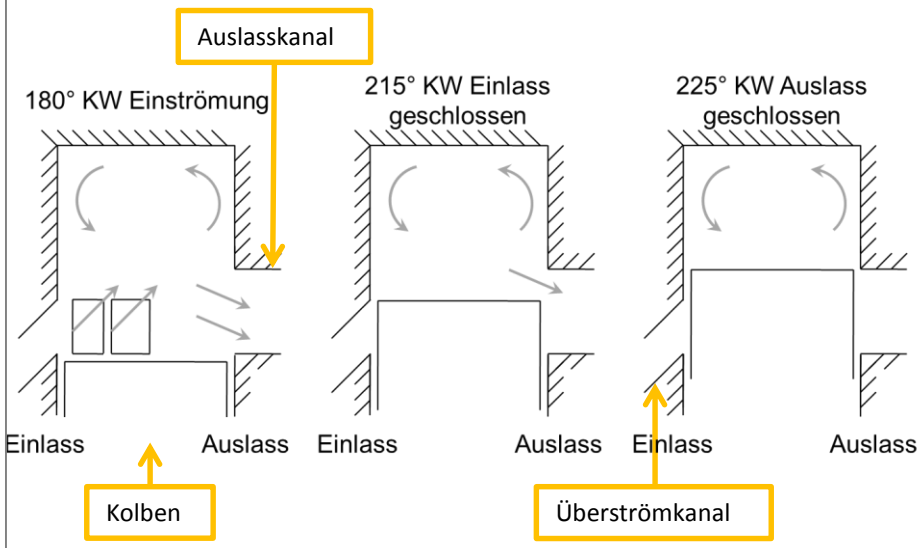
- Höhere Leistung aufgrund doppelter Zündfrequenz [3]
- Reduzierung von Gewicht, bewegter Massen und Bauraum durch Entfall von Zylinderkopf, Ventiltrieb und Steuerung
- Reduzierung mechanischer Reibung um 20 % [4], [5]
- Halbierung der Herstellungskosten aufgrund weniger Lagerstellen und Bauteile [6]

Konflikte

- Hohe HC - Spülverluste
- Geringe Leistungssteigerung durch Aufladung

Zweitaktmotoren weisen ein hohes Potential auf, die Anforderungen erfolgreich umzusetzen. Aber: Abgasemissionen reduzieren!

Zweitakt-Hubkolbenmotor



Schnittzeichnung Zweitakt-Hubkolbenmotor

Motorkonzepte

Doppelkolbenmotor nach dem Zweitaktprinzip DKW

Vorteile

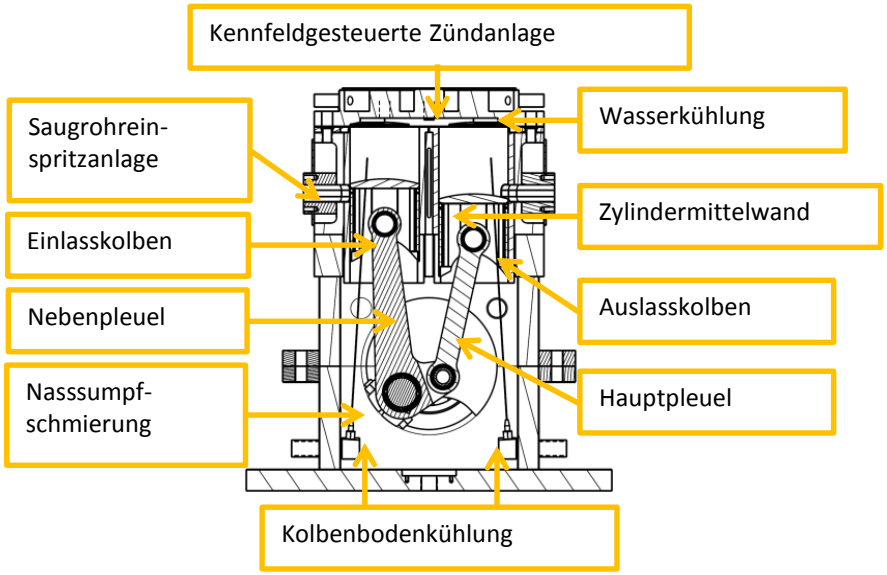
- Reduzierung der HC - Spülverluste
- Leistungssteigerung durch Aufladung möglich
- kompakte Bauweise
- homogener Temperaturverlauf in der Zylinderlaufbuchse

Konflikte

- hohe thermische Belastung der Zylindermittelwand
- saubere Spülung aufgrund der Gasumlenkung schwierig

Der Doppelkolbenmotor nach dem Zweitaktprinzip stellt ein großes Potential zur Umsetzung der Anforderungen dar! [7]

Doppelkolbenmotor DKW



Schnittzeichnung Zweitakt-Doppelkolbenmotor

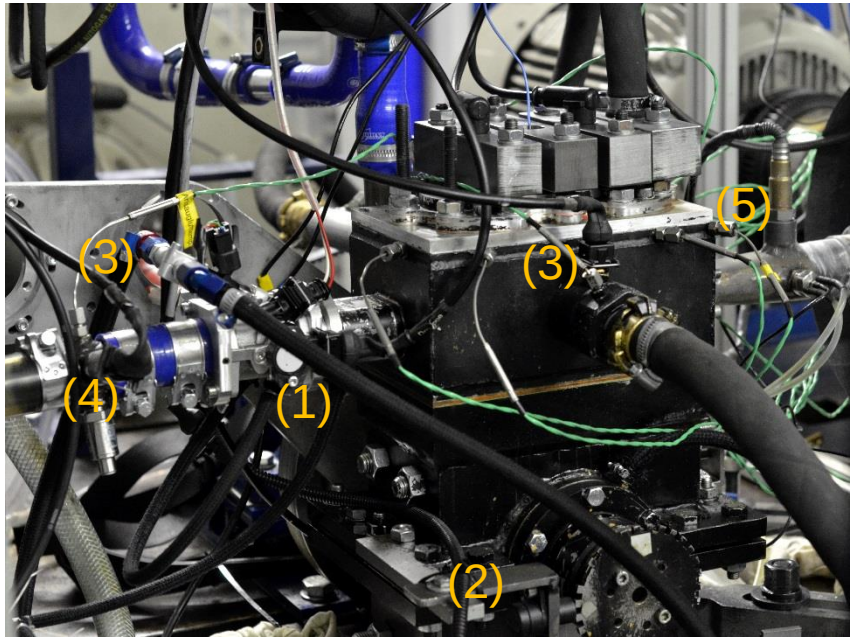
Zweitakt-Doppelkolbenmotor

Prüfstand

Motorsteuerung

- α/n-Steuerung
- Drosselklappensensor (1)
- Drehzahlsensor (2)
- Temperatursensor (3)
- Drucksensor (4)
- Lambdasonde (5)

Prototyp



Prüfstand

Relevante Größen:

- Abgaswerte CO, HC
- Luftzahl
- Leistung
- Hochdruck- und Niederdruckindizierung

Zweitakt-Doppelkolbenmotor

Vergleich

Doppelkolbenmotor

- Einzylinder Zweitaktmotor
- Hubraum: 499 cm³
- Hub pro Zylinder: 73,7 mm
- Bohrung pro Zylinder: 66,4 mm

Vergleichsmotor

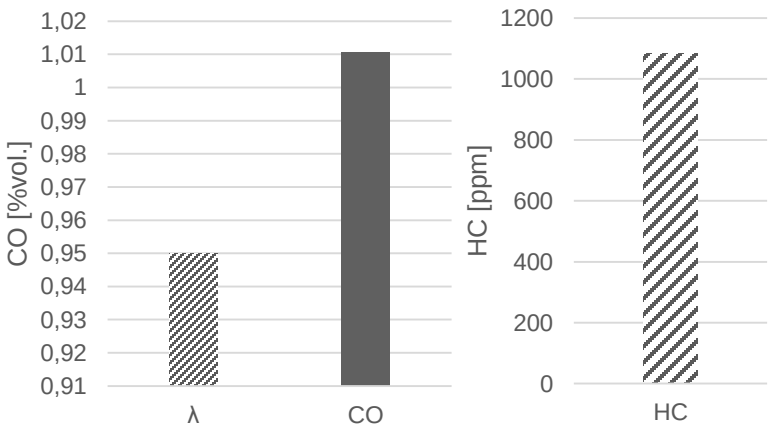
- Einzylinder Viertaktmotor
- Baujahr: 2015
- Hubraum: 373 cm³
- Hub: 60 mm
- Bohrung: 89 mm

Auswertung

- Messung Vergleichsmotor
  - CO: 2 %vol. Luftzahl 0,92
  - HC: 360 ppm

  vergleichbar mit Literaturwerten [8], [9]

- Messung Doppelkolbenmotor



Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Zweitakt-Doppelkolbenmotor

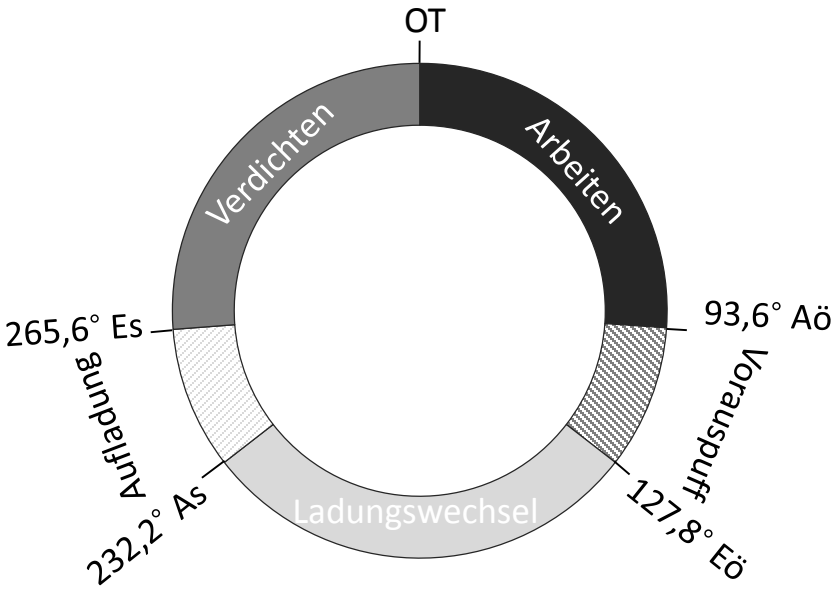
Reduzierung der HC-Emissionen

Variation des Einspritzbeginns

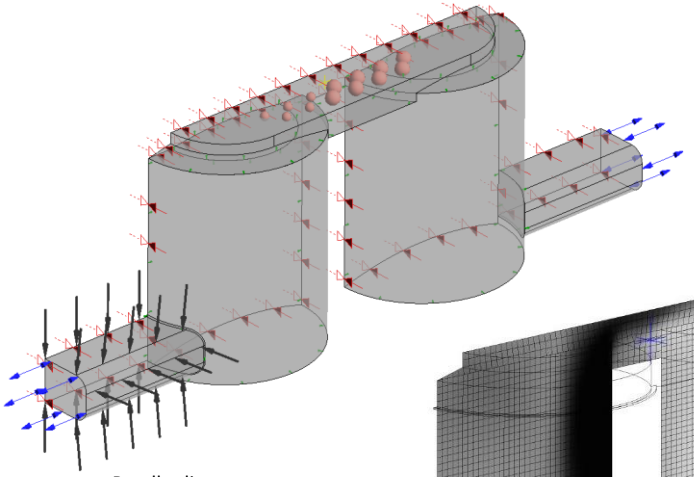
- Einspritzbeginn derzeit 80° nach Zünd OT
  - ⇨ Ziel: Spülvorlage mit Luft
- Einspritzbeginn nach Einlass öffnet

Modellbildung Simulation

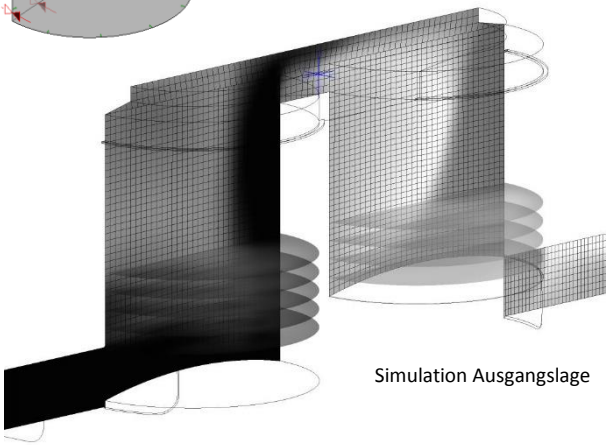
- Drehzahl: 3000 1/min
- Bewegungsgleichungen der Kolbenböden
- Druckrandbedingung
- Energieeinbringung bei OT
- ⇨ Optimierter Zylinderblock



Ladungswechseldiagramm Zweitakt-Doppelkolbenmotor



Randbedingungen



Simulation Ausgangslage

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Pascal Diwisch, Daniel Billenstein, Christian Glenk, Frank Rieg

Zweitakt-Doppelkolbenmotor

Optimierter Motor

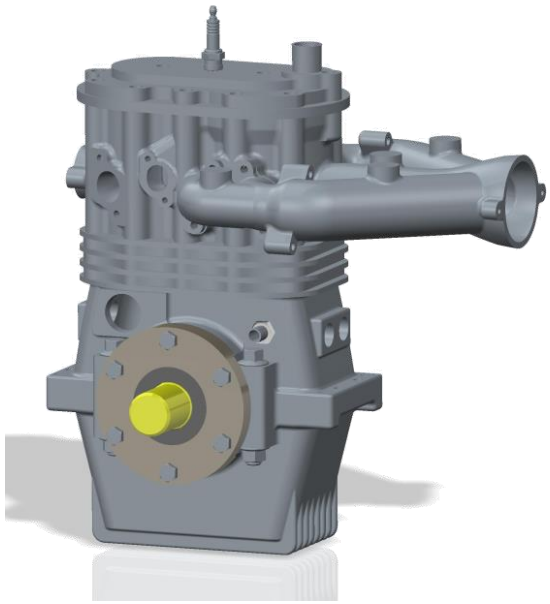
Ergebnis

Ladungswechsel

- Ein- und Auslassschlitze über einen größeren Umfang
- Einlassschlitzfläche verdoppelt
- Auslassschlitzfläche verdreifacht
- gleichbleibende Schlitzhöhe

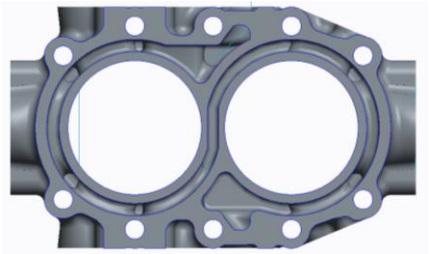
Kühlung

- Überströmen vom Zylinderdeckel um den Auslasszylinder in den Zylinderblock
- geringere Wandstärke des Kühlwassermantels
- Schlitz zwischen Laufbuchsen vergrößert und Richtung Brennraum erhöht



Optimierter Zweitakt-Doppelkolbenmotor

Draufsicht Zylinderblock



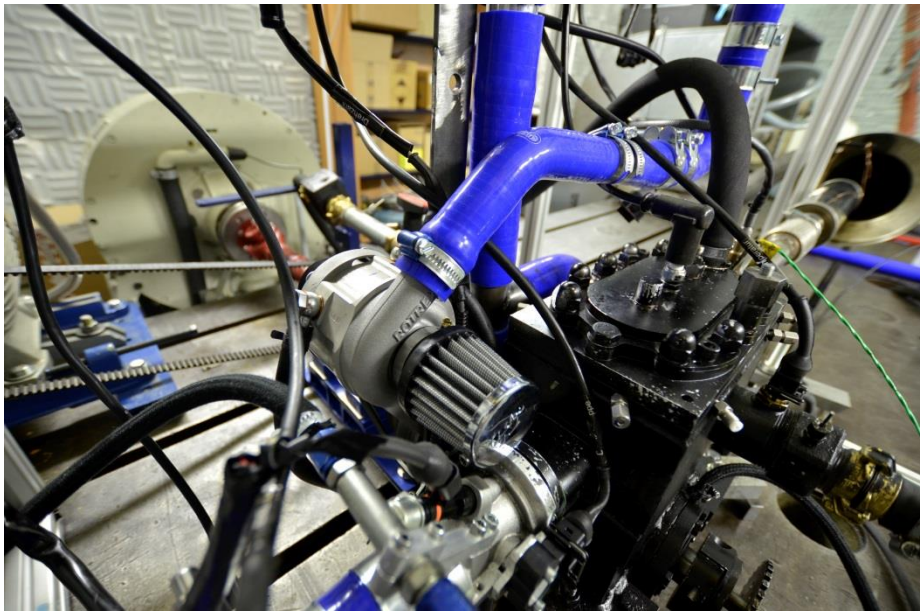
Draufsicht Zylinderblock geschnitten

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Pascal Diwisch, Daniel Billenstein, Christian Glenk, Frank Rieg

Zusammenfassung und Ausblick

- auch zukünftig gibt es Anwendungsgebiete für Verbrennungsmotoren
- neue Herausforderungen bezüglich Kraftstoffe
- signifikante Leistungssteigerung durch Zweitaktmotoren möglich
- Vermeidung von Kurzschlussströmungen notwendig
- Lösungskonzept: Doppelkolbenmotor arbeitend nach dem Zweitaktprinzip
- Vergleich mit Viertaktmotor untermauert Potential
- Variation des Einspritzbeginns mit Spülvorlage
- Vergleich mit optimierten Zylinderblock
- Vergleich von Erdgas und Benzinbetrieb



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Literaturverzeichnis

[1] Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie 2014

[2] dena, „Erdgas und Biomethan in künftigen Kraftstoffmix“ 2011

[3] Meinig, U., „Standortbestimmung des Zweitaktmotors als Pkw-Antrieb“, MTZ-Motortechnische Zeitschrift, Vol 62, No.11., 2001, pp. 924-932.

[4] N.N., „Reibungsreduzierung bei Nockenwellen“, ATZ-extra, Oktober 2014, pp. 13-15

[5] Liebl, J., „Internationaler Motorenkongress 2014“, Springer-Verlag 2014

[6] Winkler, F., "Untersuchungen zur Reduktion von Spülverlusten bei kleinvolumigen Zweitakt-motoren", TU-Graz Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, 2009.

[7] Laimböck, F., "Die Ladungswechselgeometrie von Zweirad-Zweitaktmotoren", TU-Graz Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, 1985.

[8] Jäger, A., „Untersuchung zur Entwicklung eines Zweitaktmotors mit hoher Leistungsdichte und niedrigen Kohlenwasserstoffemissionen", Universität Karlsruhe Institut für Kolbenmaschinen, 2005.

[9] Schäfer, F., van Basshuysen, R., „Schadstoffreduzierung und Kraftstoffverbrauch von Pkw-Verbrennungsmotoren", Wien: Springer-Verlag, 1993.